

## ЗНАЧЕНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ УСИЛИЯ ВТАЛКИВАНИЯ В РАБОЧИЙ ИНСТРУМЕНТ В ПРОЦЕССЕ ВОЛОЧЕНИЯ ПРОФИЛЬНЫХ ТРУБ

### THE IMPORTANCE OF APPLYING FORCE INDENTATION IN A WORKING TOOL IN THE PROCESS OF SHAPED TUBES DRAWING

Р.А. Окулов, аспирант

С.В. Паршин, научный руководитель, проф., д.т.н.

ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», Россия, г. Екатеринбург, индекс 620000.

E-mail: okulov.roman@gmail.com, т.: 89506316069.

#### Abstract

*The work was cover the study of influence force indentation on geometric and energy-power parameters of shaped tube drawing. The object of study was process terms of cold sinking drawing of hexahedral shape tube from stainless steel X6CrNiTi18-10. The study was curries out with help software for finite element method and was confirmed practical experiment. The results of theoretical and practical parts are very much agreed.*

При производстве трубной продукции актуальным остается вопрос о предсказании конечной формы получаемой продукции еще на стадии проектирования процесса и то, как влияет на ход процесса выбираемые параметры. Предшественниками выполнена большая работа по установлению зависимостей, которые в той или иной мере могли бы пролить свет на существующий вопрос. В работе [1] было проведено основополагающее изучение процесса, а в работе [2] были более подробно рассмотрены задачи при производстве профильной трубной продукции. Но, не смотря на проделанный массив исследовательской работы, до сих пор остаётся открытым и не изученным в должной мере вопрос о влиянии различных факторов на качество геометрии и энергосиловые показатели процесса волочения.

В данной работе ставиться актуальная задача – определить как зависит форма трубы и энергосиловые характеристики самого процесса производства при волочении профильных труб от усилия вталкивания приложенного к заготовки по направлению к рабочему инструменту. Ответ на этот вопрос позволить дать ценные рекомендации производителям данной продукции и поможет избежать ряд нежелательных последствий. Определив характер зависимости можно будет

предсказывать на стадии проектирования процесса производства его результат.

Исследование роли усилия вталкивания выполнили с использованием программного обеспечения с целью определения искомых величин. Для определения интересующих параметров труб, как в работе [3], воспользовались программным пакетом DEFORM-3D, который использует в процессе расчета конечно элементное моделирование.

Определили зависимости различных параметров от применения дополнительно приложенного усилия вталкивания заготовки в волочильный фильер. Изучаемые параметры условно делятся на две группы: связанные с геометрией конечного продукта и связанные с энергосиловыми показателями самой операции производства. Среди геометрических параметров исследовали толщины стенки в центре грани, наружный прогиб граней, площадь поперечного сечения после обработки, вытяжку, наружный и внутренний радиусы незаполнения. Исследуемые геометрические параметры представлены на рисунке 1. Среди энергосиловых параметров процесса изучили усилие волочения, работу усилия волочения, единицу массы смещаемого материала, энергоёмкость волочения.

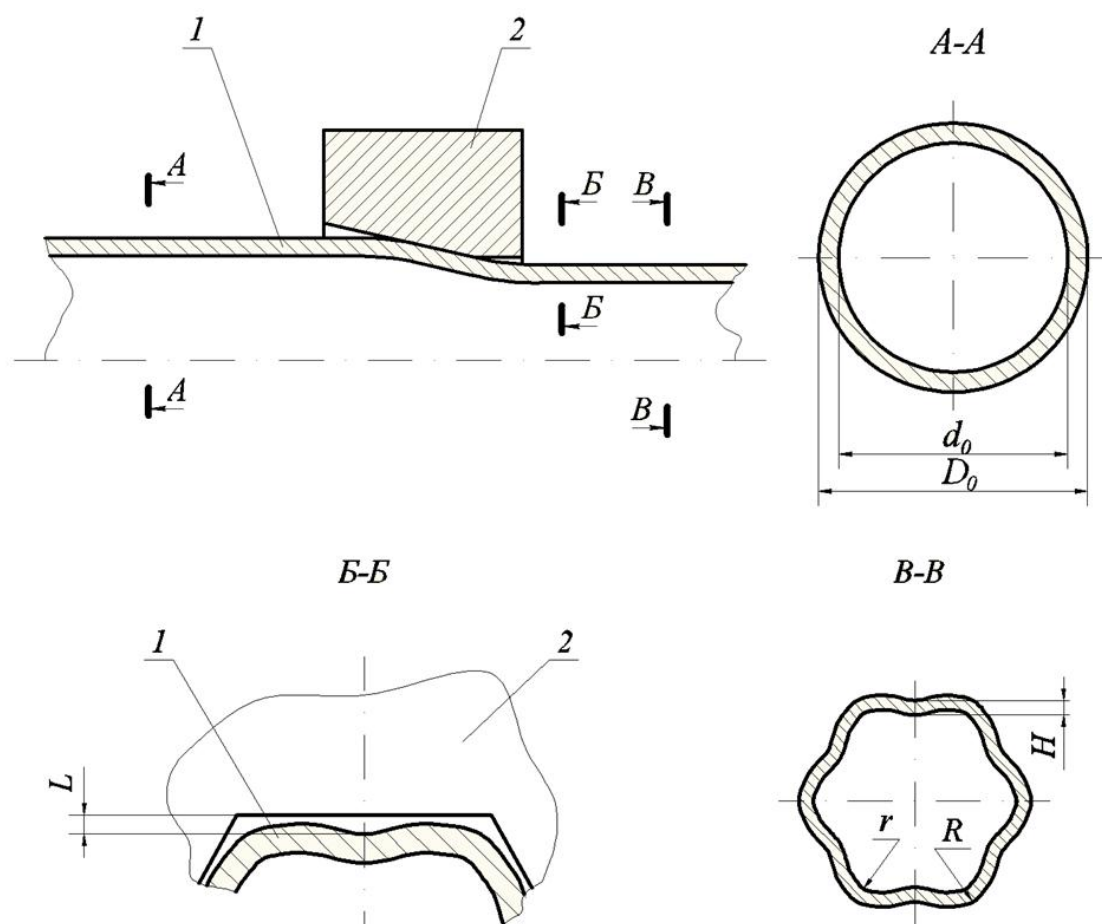


Рис. 1 – схема процесса профилирования трубы  
1 – обрабатываемая труба; 2 – волоочильная фильера.

$D_0$ ,  $d_0$  – наружный и внутренний диаметры заготовки;  $L$  – наружный прогиб грани трубы;  $H$  – толщина стенки грани;  $R$ ,  $r$  – наружный и внутренний радиусы незаполнения.

За исследуемый процесс обработки приняли холодное безправочное волочение профильной трубы из заготовки круглого сечения. После обработке поперечное сечение трубы принимает форму шестигранника с размером «под ключ» 10 мм (диаметр вписанной окружности шестигранника). Скорость волочения 100 мм/с. Заготовка представляет собой круглую бесшовную холоднодеформированную трубу, наружным диаметром  $D$  12 мм, толщиной стенки  $S$  1 мм.

Для получения интересующего профиля трубы, заготовку круглого сечения протягивали в один переход через рабочий инструмент. Рабочий инструмент представляет собой волоочильную фильеру с обжимным участком, в виде усеченной пирамиды. Угол наклона рабочей поверхности волоки составляет  $6^\circ$ , радиус скругления перехода от рабочего участка волоки к калибрующему составлял 1 мм, величина калибрующего участка равна 10,2 мм. Размер элемента сетки разбиения равняется 0,14 мм. Коэффициент трения по Амонтону-Кулону приняли 0,1. Приняли коррозионностойкую сталь 12X18H10T за материал заготовки. Труба изготовлена в соответствии с ГОСТ 9941, материал по ГОСТ 5632.

Закон упрочнения для материала задали формулой [4]

$$\sigma = \sigma_{0,2} + g\Lambda^b,$$

где  $\sigma_{0,2}$  – условный предел текучести;  $g$  и  $b$  – эмпирические коэффициенты.

Для стали 12X18H10T:  $\sigma_{0,2} = 321,7$  МПа;  $g = 813,4$  МПа и  $b = 0,405$ .

Для определения зависимости искомых параметров от усилия втапливания, требовалось определить усилие волочения процесса волочения без применения усилия втапливания или противонапряжения. С этой целью был проведен математический эксперимент, в результате которого было установлено, что средняя величина усилия волочения при установившемся процессе из пяти параллельно проведенных экспериментов составляет 4655 Н.

После определения величины волочения рассчитали процент от нее, который варьировался от 10% до 90% с шагом в 10%. Полученный ряд усилий приложили к заготовке по направлению к рабочему инструменту и затем установили зависимости исследуемых параметров от процента приложенной нагрузки, после чего построили графики.

Искомые параметры разделили на две группы: связанные с геометрией конечного продукта и связанные с энергосиловыми показателями самой операции производства.

Предметом исследования геометрических параметров формы труб, являлись:  $H$  – толщина

стенки в центре грани, мм;  $L$  – наружный прогиб граней, мм;  $R$  – наружный радиус незаполнения, мм;  $r$  – внутренний радиус незаполнения, мм;  $S_a$  – площадь поперечного сечения после обработки, мм<sup>2</sup>;  $\mu$  – вытяжка, рассчитывается по формуле

$$\mu = \frac{S_0}{S_a},$$

где  $S_0$  – площадь поперечного сечения заготовки до обработки, мм<sup>2</sup>;

$$S_0 = (D_0^2 - d_0^2) \frac{\pi}{4},$$

Предметом исследования энергосиловых параметров процесса обработки труб, являлись:  $P$  – усилие волочения, Н;  $W$  – работа усилия волочения, Дж;  $m$  – единица массы смещаемого материала, кг;  $E$  – энергоемкость процесса волочения, Дж/кг. Численное значение величины энергоемкости определяют [5]

$$E = \frac{W}{m},$$

Работа усилия волочения определена как

$$W = Pl\mu,$$

где  $l$  – единица перемещения при устоявшемся процессе, м;

Единица массы смещаемого материала определена

$$m = (S_0 - S_a)l\mu\rho,$$

где  $\rho$  – плотность обрабатываемого материала, кг/м<sup>3</sup>;

Для того чтобы результаты получаемые в результате проведения математического эксперимента были более точными, были найдены средние значения пяти параллельно проведенных экспериментов.

Результаты усреднены и на их основании построены зависимости на рисунках 2-5. На рисунке 2 представлена зависимость толщины стенки  $H$  от приложенной нагрузки. Зависимость прямая – с ростом величины приложенной нагрузки толщина стенки  $H$  увеличивается. Как видно из графика, зависимость линейная и может быть описана функцией уравнением

$$y = a + bx \quad (1)$$

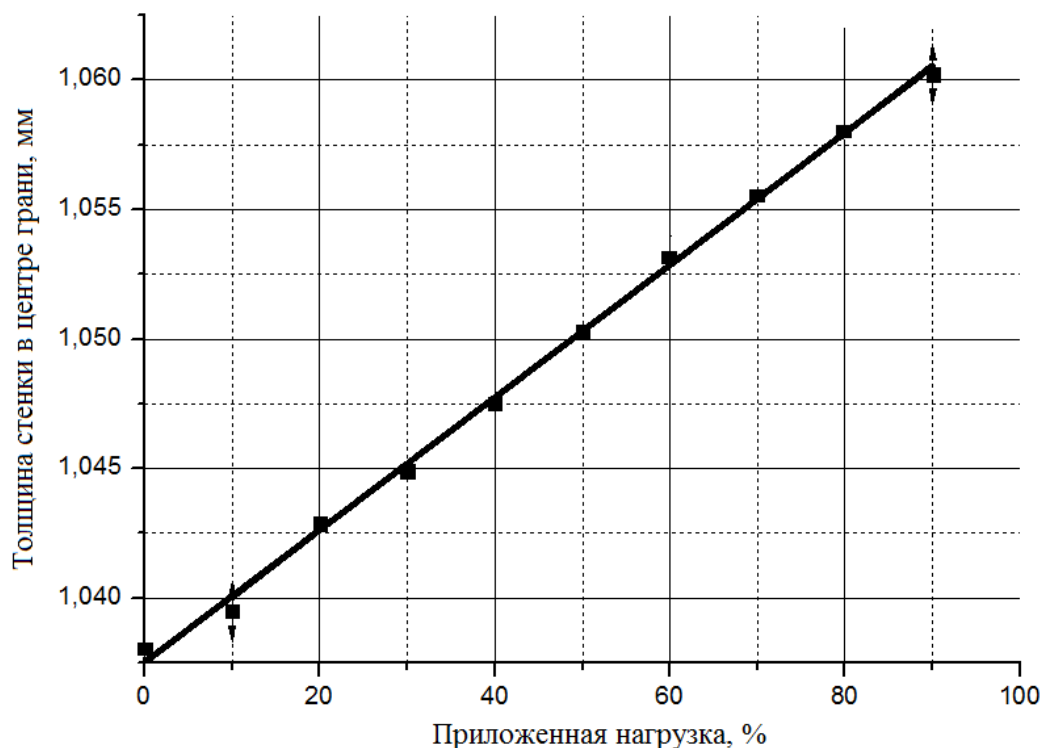


Рис. 2 – График изменения толщины стенки

Рисунок 3 показывает, что на наружный прогиб стенки трубы в центре грани  $L$  прилагаемая нагрузка фактически не влияет. Угол наклона к оси абсцисс стремится к нулю, так что можно сделать

вывод о том, что величина прогиба  $L$  постоянна и составляет 0,09 мм. Зависимость также линейная и описывается формулой (1).

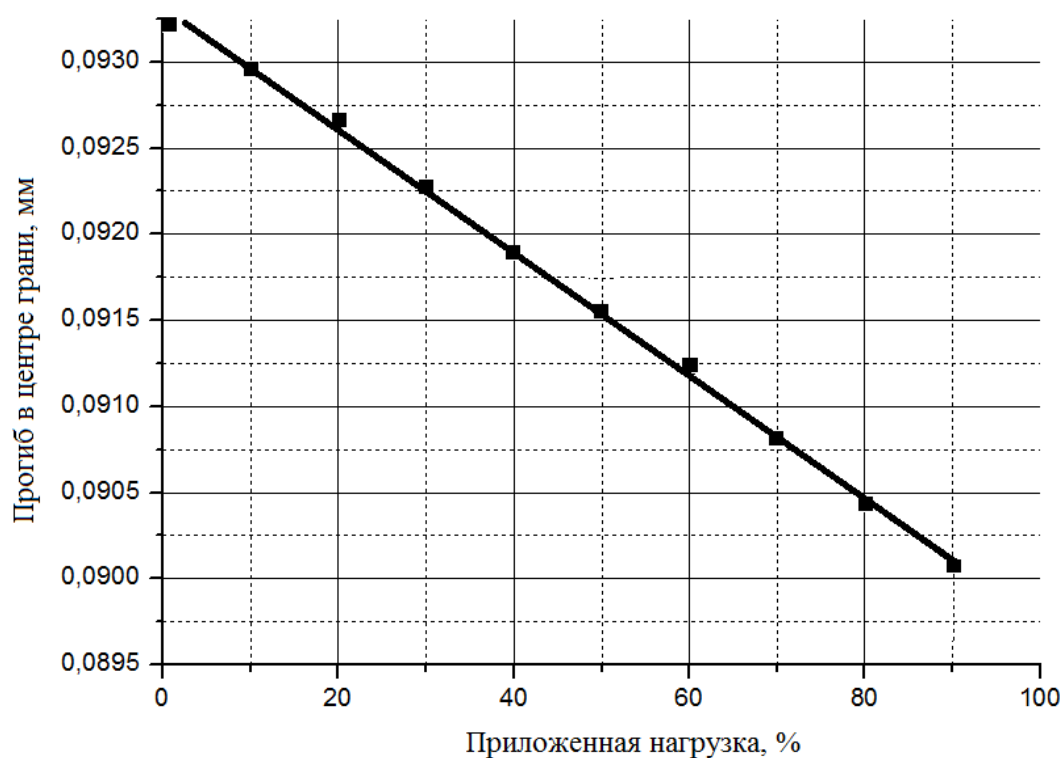


Рис. 3 – График изменения прогиба в центре грани.

Величина площади поперечного сечения после обработки  $S_a$  растет по линейной зависимости и может быть также описана формулой (1). Следовательно, зависимость вытяжки  $\mu$  обладает обратной линейной зависимостью и описывается формулой (1).

Зависимости наружного  $R$  и внутреннего  $r$  радиусов незаполнения представлены на рисунка 4 и 5, соответственно. Как видно обе зависимости обратные и линейные, следовательно могут быть описаны формулой (1).

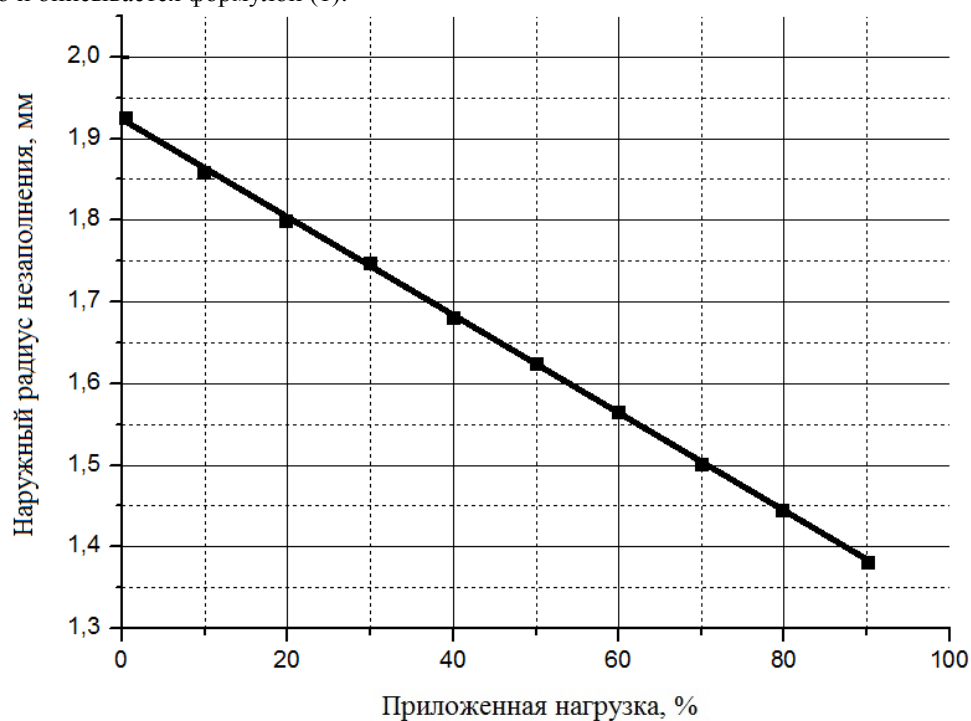


Рис. 4 – График зависимости наружного радиуса.

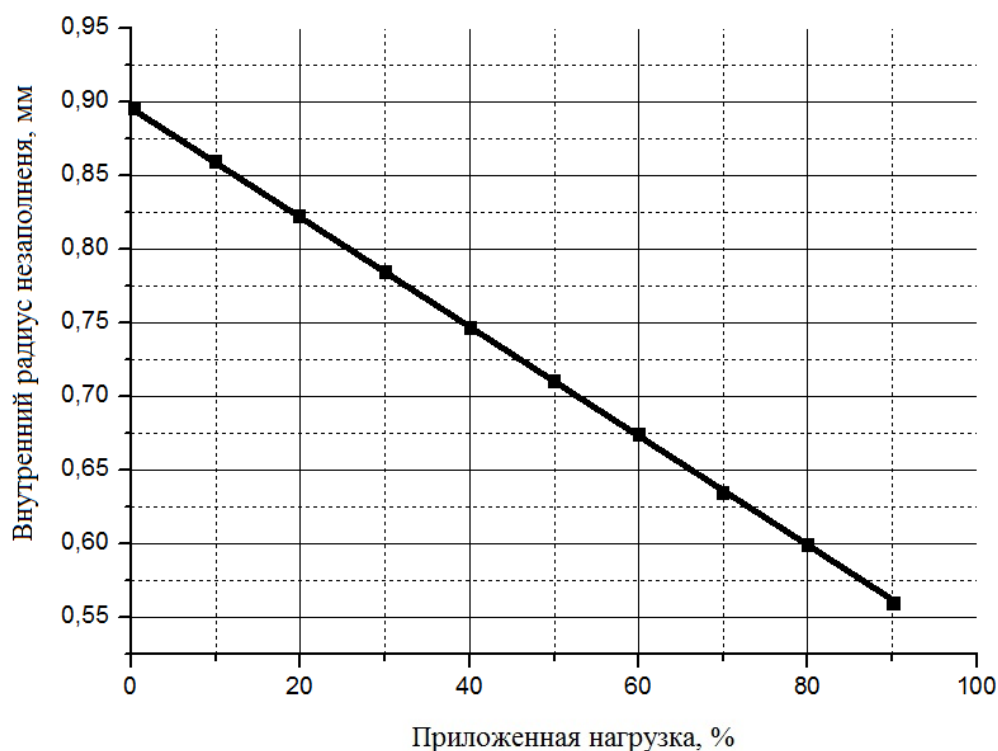


Рис. 5– График зависимости внутреннего радиуса незаполнения.

С ростом величины приложенной нагрузки усилие волочения  $P$  убывает по прямой линейной зависимости, следовательно, аналогичная зависимость работы усилия волочения  $W$ . Зависимости описываются формулой (1). Смещаемая масса на погонный метр  $m$  уменьшается с ростом величины приложенной нагрузки по линейной зависимости, которая

описана формулой (1). Энергоемкость процесса вытягивания на погонный метр  $E$  с ростом величины приложенной нагрузки уменьшается по обратной линейной зависимости, описываемой формулой (1).

Коэффициенты  $a$  и  $b$  формулы (1) по результатам исследования представлены в таблице 1.

Таблица 1

Коэффициенты $a$ и $b$ формулы (1)										
	$H$ , мм	$L$ , мм	$S_a$ , мм <sup>2</sup>	$\mu$	$R$ , мм	$r$ , мм	$P$ , кН	$W$ , кДж	$m$ , кг	$E$ , кДж/кг
Сталь 12Х18Н10Т										
$a$	1,037	0,093	31,8	1,086	1,92	0,9	4,65	5,06	2,34	2,2
$b$	0,000	-0,00	0,012	-0,000	-0,006	-0,004	-0,04	-0,05	-0,01	-0,02

После теоретического эксперимента провели практический. За параметры исследуемого процесса приняли те же, что при постановке теоретического эксперимента. Волочили трубу без применения усилия вталкивания.

В результате эксперимента были измерены геометрические параметры обработанной трубы и энергосиловые параметры процесса, а затем сравнены с результатами теоретической работы. Результаты сравнительного анализа представлены в таблице 2.

Таблица 2

Сравнение теоретических и практических данных

№ п/п	Параметр	Значение из эксперимента		Отклонение, %	
		Теоретич.	Практич.	Относит.	Абсолют.
1	$H$ , мм	1,037	1,04	1,003	0,288
2	$L$ , мм	0,093	0,09	0,968	-3,333
3	$S$ , мм <sup>2</sup>	31,81	31,85	1,001	0,126
4	$\mu$	1,0863	1,085	0,999	-0,120
5	$R$ , мм	1,922	1,91	0,994	-0,628
6	$r$ , мм	0,896	0,87	0,971	-2,989
7	$P$ , Н	4655	4724	1,015	1,461
8	$W$ , Дж	5057	5126	1,014	1,335
9	$m$ , кг	2,344	2,263	0,965	-3,579
10	$E$ , Дж/кг	2158	2265	1,050	4,758

Результаты теоретического и практического эксперимента сходятся в допустимых пределах отклонений. Таким образом, можно сделать вывод о том, что теоретическая часть исследования соответствует реальному процессу.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполненной работы было установлено влияние использования усилия вталкивания заготовки в волоку на форму труб и энергосиловые параметры процесса. Было продемонстрировано, по какой зависимости изменяются исследуемые параметры от величины приложенной нагрузки. Выведены формулы зависимостей и представлены в сводной таблице.

Проведена экспериментальная проверка проделанного математического эксперимента. Статистическая обработка результатов не выявила значимых различий в расчетных и экспериментальных данных.

В итоге исследования можно сделать вывод: применение усилия вталкивания оказывает положительное влияние на качество геометрических параметров обрабатываемой профильной трубы. Наружный и внутренний радиусы незаполнения с ростом приложенной нагрузки становятся меньше, что положительно сказывается на качестве выпускаемой продукции. Такое же положительное влияние усилие вталкивания оказывает и на снижение величины прогиба грани.

Рациональным является при производстве профильных труб использовать технологию проталкивания заготовки через волоку, вместо технологии вытягивания из нее, поскольку предложенная идея благотворно сказывается на качестве продукции. Есть целесообразность уделить большее внимание исследованию технологии проталкивания и вопросу широкого применения на практике и внедрению в производство.

### Список литературы

1. Теория волочения. Перлин И.Л., Ерманок М.З. Изд-во «Металлургия», Москва, 1971, 2-е изд., с. 448;
2. Производство профильных труб. Данченко В.Н., Сергеев В.В., Никулин Э.В. М.: Интермет Инжиниринг, 2003, с 224;

3. Орлов Г.А., Вагапов Е.Н., Чернышов Д.Ю., Попов Д.А. Некоторые технологические возможности роликового волочения труб // Производство проката. 2012. №4. с. 28-31;

4. Ресурс пластичности металлов при обработке давлением. Богатов А.А., Мижирицкий О.И., Смирнов С.В. М.: Металлургия, 1984, с. 144;

5. Окулов Р.А., Паршин В.С., Карамышев А.П. Энергоемкость обработки заклепочной проволоки из дюралюминия волочением и радиальным обжатием // Вестник машиностроения. 2012. №9. с. 80, 81.